

Translation of Priority Document

filed at the German Patent Office
on November 7th, 2002
Serial-No. 102 51 888.2

Driver for Pockels Cells and using this Pockels Cell within Laser Systems

Assignees:

Bergmann Messgeräte Entwicklung KG
Bahnhofstr. 14, 82418 Murnau

Lumera Laser GmbH
Opelstr. 10, 67661 Kaiserslautern

Representative:

Dr. Matthias Graf Lambsdorff
Dingolfinger Str. 6, 81673 München

Inventors:

Dr. Thorald Bergmann
Adalbert-Stifter-Straße 8, 82418 Murnau

Dr. Ralf Knappe
Lerchenstr. 3B, 67661 Kaiserslautern

Abstract

Driver for Pockels cells and using this Pockels cell within laser systems

The driver i.e. the electrical control of the Pockels cell is modified from the standardly known H-configuration using the switches S1, S2A; S1A, S2A by adding at least one more switch (S2B; S1B, S2B). This switch can either replace the usually used recharging resistors (R2) or can be placed to these in parallel. It is also possible to use an arrangement using 4 switches (S1A, S2A, S1B, S2B) and no recharging resistors at all. Using such a driver with a Pockels cell pulses can be selected in laser systems more efficiently. Pulse sequences with well defined widths and spacing can be produced for certain applications.

(Fig. 4 is used for this abstract)

Description

Driver for Pockels cell and using this Pockels cell in laser systems.

This invention relates to a driver or electrical high voltage control for a Pockels cell and application of a Pockels cell controlled with said driver in a laser system and applications of said laser systems.

A Pockels cell generally consists of a birefringent crystal which is placed into and oriented in an adequate way to a monochromatic and polarized laser beam. In combination with some further optical elements, such as polarizers or mirrors, this Pockels cell can, by applying an electrical voltage ranging from 100V to a few kilovolts

- a) allow or disallow the passage of light
- b) direct the light on two different paths through an optical system

The voltage necessary to reach the two named states of the system are determined by the crystal parameters and the wavelength of the light used. There are applications of Pockels cells demanding a very fast switching of the voltage on and off, whereby both transition times need to be in the order of a very few nanoseconds. Some applications only need one very fast transition, either switching on or off, whereby the other transition time may well reach microseconds. This invention relates to the arrangement and application of a device where both transition times need to be fast.

This Pockels cell, combined with an adequate switchable high voltage source can be used to switch on and off short laser pulses with a duration of a few nanoseconds (ns) or ultrashort laser pulses with durations of picoseconds (ps) or femtoseconds (fs), meaning that either the intensity of said laser pulses is modified or their direction of propagation is changed. Ultrashort laser pulses are known to be produced by the method of mode coupling. By principle this method of mode coupling will always produce the pulses at very high repetition rates (greater than 10MHz, typically from 70 to 200MHz for solid state lasers) and low energy of the individual laser pulses (nanajoules, typically 0.1 to 50nJ). Should it be necessary to use single pulses or groups of pulses, quite often Pockels cells are used to select these pulses. These Pockels cells must first be switched on in the time span between two such laser pulses which are emitted by the laser source at a spacing of typically 6 to 15 nanoseconds, and switched off again after letting one laser pulse through only 6 to 15 nanoseconds later.

Often there is the need for ultrashort laser pulses with significantly higher energy (e.g. 1000 to 100000 times higher) than can be produced directly via mode coupling. Typical applications of such ultrashort high power pulses are nonlinear optics and materials processing. In such case, the selected pulses are transmitted through optical amplifiers, passing these and gaining energy in passing as often as necessary to attain the desired energy. These optical amplifiers can be arranged as linear or regenerative amplifiers.

A regenerative amplifier is known to have an amplifying medium placed within a resonator. The laser pulses selected by the first Pockels cell are optically switched into the resonator with a second Pockels cell, amplified as they pass the amplifying medium again and again, and finally switched out by this second Pockels cell. In order to switch the pulses in and out of the resonator, it is essential that the voltage applied to this Pockels cell is switched on and off in less than the turn-around time of the resonator of the regenerative amplifier. Thus, in order to couple a laser pulse into the amplifier, it is mandatory to switch on the voltage to be applied to the Pockels cell in only a few nanoseconds. Likewise, to extract the amplified pulse from the resonator, the voltage applied to the Pockels cell has to be removed just as fast.

The amplification procedure used in regenerative amplifiers is seriously restricted by the presently available high voltage controls for Pockels cell, their switching times being too slow, their repetition rates too small and their imprecision of switching giving low contrast. Their switching times of many nanoseconds restricts the use of mode coupled laser source to ones with repetition rates below 100MHz and also necessitate regenerative amplifiers with large resonators having turn-around times of more than 10ns. Typical repetition rates of less than 20kHz are too low for laser materials processing systems using Pockels cells within the laser system to be economically effective.

If linear amplifiers are used, the pulses selected from the ultra-short pulse laser pass through the amplifying medium without any further optical switch. Since this method allows fewer passes through the amplifying medium, these amplifiers are mainly used when pulse energy is low or when very high amplification is desired. The main disadvantage according to the state of art here is the low contrast between the selected and the not selected pulses, which, using presently available high voltage controls for the Pockels cells is only about 300:1. The residual transmission of the not selected pulses results in a background radiation whose intensity is often higher than the energy of the selected laser pulses. Take as an example a laser pulse source emitting at a repetition rate of 60 MHz with an energy of the individual pulse of 30 nJ. Selecting pulses with a repetition rate of 20kHz gives an average power of $20\text{kHz} \times 30\text{nJ} = 0.6\text{mW}$. In between the selected pulses there will be 3000 unselected pulses that will, with the above contrast, only be a factor of 300 weaker. Thus, the average power of the background radiation will be a

factor of 10 times higher which is 6mW. Any linear amplifier amplifying these pulses will transfer 91% of its stored energy to background radiation and only 9% to the selected laser pulses. For this reason, using state-of-the-art systems, it is presently not possible to use Pockels cells for selection of pulses in laser systems with high amplification. Rather pulse selectors with higher contrast, such as acousto-optic modulators (AOM) have to be used. These modulators however have other serious disadvantages such as low transmission and low destruction intensities.

Drivers for Pockels cells at present state of art are configured as the example in Fig 1a shows. In the following description this configuration will be designated as H-configuration. This presently known H-configuration has two nodes SK1 and SK2, which are connected to the Pockels cell. From the nodes SK1 and SK2 emanate four wires that form the four legs of the letter H. The first node SK1 is connected via a first wire (with resistor R1) to the high voltage supply HV, via a second wire and switch S1 to ground. The second node SK2 is connected via a third wire (with resistor R2) to the high voltage supply HV, via a fourth wire and switch S2 to ground. The capacitors CS1 and CS2, connected in parallel to the switches S1 and S2 show their intrinsic switch capacitances. CP designates the capacitance of the Pockels cell and P1 and P2 are the electric potentials of the nodes SK1 and SK2 respectively.

The switches designated by S1 and S2 are high voltage switches. These high voltage switches are capable of switching voltages from several kilovolts to several tens of kilovolts with transition times in the order of a few nanoseconds. Usually these switches can be controlled with TTL signals. The inner construction of these switches is state-of-the-art, an example is described in patent DE 3630775 C2. Likewise the generation of the low voltage signals is state-of-the-art and will not be discussed here.

The mode of operation of this state-of-the-art circuit is shown in Fig. 1b. To start with, both switches S1 and S2 are open. Thus, no voltage is applied to the Pockels cell. Closing switch S1 will apply a voltage to the Pockels cell. Then closing S2, the Pockels cell will be discharged. Waiting some time, usually dictated by the application in question, both switches are opened simultaneously or shortly after one another. This will pull both connectors of the Pockels cell back to the potential of the high voltage source, with a time constant determined by R1 and CS1 respectively R2 and CS2. The timing diagram of Fig. 1b designates this as the recharging phase. The purpose of resistor RBAL is to improve the shape of the voltage pulse on the Pockels cell while S1 is closed and S2 open. The timing diagram shows the sequence of switch states and the resulting voltage applied to the Pockels cell.

A further variant according to state-of-the-art is shown in Fig. 2. This is a simple push-pull switch, where always one switch is closed, the other one open. With switch S1A closed and S1B open, there is no voltage applied to the Pockels cell. With S1A open and S1B closed, the full high voltage is applied to the Pockels cell. The timing diagram for this variant shows the switching of these two switches simultaneously. Of course, it is also possible to open the closed switch a few nanoseconds before closing the open switch. The voltage would then change with the closing of the previously open switch.

Pockels cell drivers according to Fig. 1a however have some serious disadvantages:

- a) When only one of the switches S1 or S2 is closed, it is not the full voltage of the high voltage source that is applied to the Pockels cell, but only a portion given by the ratio of the capacitances $k = CS2/CP$. Thus it is necessary to increase the voltage of the high voltage source, which also increases the amount of energy consumed per switching action.
- b) To increase the capacitance ratio by connecting capacitors in parallel to the high voltage switches will not help, because while increasing the voltage applied to the Pockels cell this measure at the same time will also increase the amount of energy consumed per switching action, this increase in energy being caused by the charging and discharging of the added capacitors.
- c) The time any switch is closed is usually dictated by its internal wiring. This will limit the maximum time that voltage can be applied to the Pockels cell.
- d) This fixed closing time of the high voltage switches will also result in a time difference when both switches open again, resulting in a voltage difference across the Pockels cell during the recharging phase. Even, if both switches should open exactly at the same time, it is hardly possible to match the time constants of $R1/CS1$ and $R2/CS2$ so well as to completely prevent any voltage difference on the Pockels cell during the recharging phase. However, except at times when the application dictates full voltage to be applied to the Pockels cell, any residual voltage applied to the Pockels cell may be detrimental. The function of optical amplifiers may seriously be impaired by any residual light transmission of such an optical switching element.

A Pockels cell driver according to Fig. 2 avoids any residual voltage that might occur during a recharging phase, also this arrangement will deliver the full voltage of the high voltage source to the terminals of the Pockels cell, thus preventing any waste of energy. However, the time between closing and reopening a high voltage switch can not be arbitrarily small, resulting in a minimum time that voltage must be applied to the Pockels cell. 100 nanoseconds might here be a typical value.

Thus it is the object of the invention to provide a Pockels cell driver that allows a high repetition rate of switching at arbitrary duty cycle and perfectly held switch states. In particular, it is the object of the invention to provide a circuit for controlling Pockels cells that allows to select laser pulses with short switching times, high repetition rate of switching and good contrast between selected and not selected laser pulses. Furthermore, it is the object of the invention to provide applications of these Pockels cells in laser systems generating short or ultrashort laser pulses with high energy and minimal background radiation, and to provide applications of these laser systems.

The characterizing features of the invention are given in the independent claims.

Starting from the state-of-the-art described H-configuration of a Pockels cell driver, according to the invention one or two switches are either wired in parallel to the recharging resistors or replace them altogether.

Without making reference to the state-of-the-art H-configuration the driver according to the invention can be described as follows: The driver has one node connected to one connector of the Pockels cell, and a second node connected to the second connector of the Pockels cell. The first node is connected via a first wire (containing a resistor) with a first electric potential and via a second wire containing a switch with a second electric potential. The second node is connected via a third wire (containing a resistor) with a first electric potential and via a fourth wire containing a switch with a second electric potential. A driver according to the invention now has at least another switch that connects one of the nodes to the second electric potential.

Both the first and second electric potentials can be given by either the pole of a voltage source or ground.

The further one or two switches can be arranged in a number of different ways.

Taking the state-of-the-art H-configuration as a starting point where a charging resistor is placed into the first wire connecting the first node to the first electric potential and another charging resistor is placed into the third wire connecting the second node with the first electric potential, the further switch can be wired in parallel to one of these resistors and arranged in a fifth wire between one of the nodes and the first electric potential.

Extending the just described embodiment of the invention, another switch can be wired in parallel to the second charging resistor and arranged in a sixth wire between the other node and the first electric potential.

Instead of wiring the switches in parallel to the recharging resistors, the switches can replace one or both of the recharging resistors.

The Pockels cell driver according to the invention avoids the problem of residual voltage across the Pockels cell during the recharging phase, it can also operate at higher repetition rates of 100-200 kHz, whereas conventional drivers are only capable of running at 50kHz.

Pockels cells with drivers according to the invention can be used advantageously in laser systems. Pockels cells with drivers according to the invention can be used as Q-switch within a laser resonator. They can be used outside of the laser resonator to select laser pulses. Such laser pulse selection can be done between a laser pulse source and an optical amplifier. Pockels cell drivers according to the invention can also be used within regenerative optical amplifiers. The applications just named can also be used cumulatively within laser systems, i.e. a laser system may contain a number of Pockels cells with drivers according to the invention.

A further application of such laser systems is the generation of specific laser pulse patterns with or without further amplifying these laser pulse patterns. These pulse patterns allow systems of lower complexity to be used for some procedures in materials processing or pump/probe experiments.

The following figures show embodiments of Pockels cell drivers according to the invention.

Fig. 1a,b shows a Pockels cell driver circuit according to state-of-the-art (a) and switch states and electric potentials during operation (b).

Fig. 2 shows another Pockels cell driver circuit (push-pull) according to state-of-the-art (a) and switch states and electric potentials during operation (b).

Fig. 3a,b show a first embodiment of a Pockels cell driver according to the invention (a) and switch states and electric potentials during operation (b).

Fig. 4 shows a second embodiment of a Pockels cell driver according to the invention.

Fig. 5a,b show two different operational modes A and B of the embodiment of Fig. 4

Fig. 6 shows an embodiment of the invention comprising a laser system with pulse laser source and a Pockels cell with a driver according to the invention.

A first embodiment of the driver according to the invention in Fig. 3a modifies the state-of-the-art H-configuration by adding a high voltage switch S2B in parallel to one of the recharging resistors R2. The intrinsic capacitance of this switch S2b is denoted by CS2B drawn by dashed lines.

The operation of the driver from Fig. 3a is shown in Fig. 3b. Switch S2B must be closed before closing switch S1. Closing the switch S1 applies the complete voltage from the high voltage power supply to the Pockels cell. Synchronously with closing switch S2A, taking away the voltage across the Pockels cell, switch S2B is opened. During or after the recharging phase switch S2B is closed again.

Fig. 4 shows another embodiment of the invention where both recharging resistors used in the H-configuration are replaced by switches S1B and S2B. Thus the nodes SK1 and SK2 are connected through only one wire (the first and third wire), containing each one switch (S1B, S2B) with the high voltage potential HV. The embodiment shown in Fig. 4 is thus in a certain sense a doubling of the push-pull switch shown in Fig. 2.

According to the invention all four switches can be controlled by four different signals, as can be generated with delay generators that allow full freedom in specifying the time of the individual signal. For instance this allows alternating pulses with different properties. Just as well, as described in Fig. 5a,b, it is possible to work with only two signals ON and OFF, if a circuit is provided which routes the control pulses alternately from one to the other switch. Fig. 5a,b shows two variants of controlling the states of the four switches with only two control signals using the low-to-high transition of the control signals to induce changes in the state of the switches. Details of the necessary control circuits need not be discussed here, as these circuits can easily be fabricated with state-of-the-art methods.

This invention provides a driver for Pockels cells which avoids ill-defined or badly defined voltages across the Pockels cell. Fig. 5a,b show two different operational modes for a driver according to Fig. 4. The control signals ON and OFF are used to turn switches S1A, S1B, S2A, and S2B on and off. According to Fig. 5a (operational mode A) the control signal ON is always routed to switches S1A and S1B making them change their state, the signal OFF always being routed to switches S2A and S2B to change their

states. According to Fig. 5b (operational modus B) the control signals ON and OFF are routed alternately, once to the switch pair S1A/S1B, the other time to the switch pair S2A/S2B.

As can be easily seen from Fig. 5a,b, the problem of residual voltage (during the recharging phase) across the Pockels cell which occurs for drivers of Pockels cells built according to Fig. 1 is completely avoided for drivers built according to Fig. 4.

Both operational modi A or B give twice the pulse repetition rate on the Pockels cell at only half the repetition rate of the switch pairs S1A/S1B and S2A/S2B. Normally no difference will be noticeable between operational modus A and B as the way the Pockels cell influences passing light does not depend on the polarity of the voltage applied. The timing diagrams always show the opening of a switch exactly synchronous to the closing of its counterpart switch, e.g. S1A and S1B, however it is also possible to open S1B a few nanoseconds before closing S1A.

Using devices according to the invention for controlling the voltage applied to Pockels cells within laser systems, new configurations of ultrashort pulse lasers are possible, which, at present state-of-the-art would not work or would not function properly, e.g. because their function would be impaired by undue background radiation.

A Pockels cell controlled by a circuit according to the invention can, as shown in Fig. 6, select laser pulses between a laser pulse source 1 and a device of high optical amplification which will transfer its energy with high efficiency to the selected laser pulses. For instance, using a laser pulse source with a repetition rate of 60 MHz, it is possible to use a Pockels cell controlled with a driver circuit according to the invention in order to select pulses with a repetition rate of 100-200 kHz at a contrast of 3000:1. The average power of the selected pulses will thus be a factor ten higher than the residual background radiation. The amplification of the pulses is improved a factor of 100 as compared with devices that use Pockels cells controlled by state-of-the-art circuits. There is a polarisation dependent element 3 between the Pockels cell 2 and the optical amplifier 4, which is oriented such that it will transmit light polarized in one direction while reflecting light of the other polarisation.

The embodiment of the invention shown in Fig. 6 arranges the Pockels cell externally to the laser resonator. A Pockels cell controlled with a circuit according to the invention can, by virtue of the high optical contrast and fast switching times, be used directly for laser pulse selection within the resonator as a Q-switch. In combination with a polarizing element, changing the high voltage applied to the Pockels cell

will change the Q of the resonator within one turn-around time. As long as no voltage is applied to the Pockels cell, the laser pulses will bounce back and forth between the end mirrors of the resonator, being extract via state-of-the-art methods by using a polarizing element and applying voltage to the Pockels cell. Using a driver circuit according to the invention, pulses of higher energy can be selected than previously.

As a further variant, a Pockels cell controlled by a circuit according to the invention can be arranged within the resonator of an optical amplifier 4. Here also pulses can be amplified by bouncing them back and forth several times and can finally be extracted using a polarisation dependent optical element and applying voltage to the Pockels cell.

Pockels cell 2, shown in Fig. 6 can be omitted, retaining the Pockels cell within the amplifier. Arbitrary combinations of the previously discussed applications and arrangements of Pockels cell controlled by devices according to the invention can be thought of within laser systems as shown in Fig. 6.

A Pockels cell controlled by a circuit according to the invention can be used to select closely spaced pulse pairs at high repetition rate (e.g. 100kHz) The time spacing between the two pulses can be adjusted from a minimum time of 30ns up to the time the next pulse pair is selected. The first pulse can be used for excitation of some electronic state, the second pulse for detection or further modification of the electronic state. The second pulse induces a signal, e.g. the transmitted or reflected light intensity of the second pulse, or some electric current, which is measured in dependence of the time difference between exciting and measuring pulse. Such experiments, generally termed pump-probe, need apparatus of much higher complexity with present state-of-the-art devices.

A laser system with Pockels cells driven by circuits according to the invention, that can generate double pulses with high repetition rate, definable spacing between the pulses and adjustable number of laser pulses per switching event, can be used advantageously in materials processing, by first using one or more laser pulses to modify the surface of the material, and then do some processing on the surface after some specific time with one or more further laser pulses. For instance, a first electrical pulse on the Pockels cell can generate a laser pulse which creates a plasma cloud above the material to be processed. A second, longer electrical pulse on the Pockels cell can generate a train of laser pulses which then pass the plasma cloud.

Claims

- 1) Driver for a Pockels cell arranged in H-configuration, characterized by switches (S1B, S2B) that are wired parallel to the recharging resistors (R1, R2) or replace these resistors.
- 2) Driver for a Pockels cell according to claim 1, characterized by a resistor (R2) and a switch (S2B) being wired in parallel.
- 3) Driver for a Pockels cell according to claim 1, characterized by switches (S1B, S2B) that replace the recharging resistors (R1, R2).
- 4) Driver for a Pockels cell with a first node (SK1) that is connected to a first connector of the Pockels cell and a second node (SK2) that is connected to a second connector of the Pockels cell, whereas the first node (SK1) is connected via a first wire to the first potential (HV) and via a second wire containing a switch (S1) to a second potential, whereas the second node (SK2) is connected via a third wire to the first potential (HV) and via a fourth wire containing a switch (S2) to a second potential, characterized by at least one further switch (S1B, S2B) that connects one or both of the nodes (SK1, SK2) to the first potential (HV).
- 5) Driver for a Pockels cell according to claim 4, characterized by recharging resistors (R1, R2) which connect the nodes (SK1, SK2) to the first potential (HV) and a further switch (S2B) which connects the second node (SK2) to the first potential (HV).
- 6) Driver for a Pockels cell according to claim 4, characterized by nodes (SK1, SK2) which are connected with a single wire containing switches (S1B, S2B) to the first potential (HV).
- 7) Driver for a Pockels cell according to one of the previous claims, characterized by low voltage control signals that individually control each of the three or four switches (S1A, S1B, S2A, S2B) of the circuit.

- 8) Driver for a Pockels cell according to one of the previous claims 1 through 6, characterized by only two control signals (ON, OFF) which control all three or four switches (S1A, S1B, S2A, S2B) such that one of the control signals (ON) induces voltage to be applied to the Pockels cell, and the other control signal (OFF) induces the removal of voltage from the Pockels cell.
- 9) Pockels cell with a driver circuit according to one of the previous claims.
- 10) Application of at least one Pockels cell according to claim 9 within a pulsed laser system.
- 11) Application according to claim 10, whereas the laser system comprises a laser source (1) with a laser resonator, the Pockels cell being arranged internally or externally to the laser resonator.
- 12) Application according to claims 10 or 11, whereby the laser system comprises a pulsed laser source (1) and an optical amplifier (4), a Pockels cell according to claim 9 being arranged within the optical amplifier (4).
- 13) Application according to claims 10 through 12 for an optical pump-/probe-procedure, whereas an optical excitation pulse and a delayed optical monitoring pulse is directed onto a medium, whereas the signal induced by the delayed monitoring pulse is measured as a function of delay between the two pulses, whereas the pulse sequence of pump- and probe-pulse and the delay from one to another is determined by the Pockels cell and the driver of that Pockels cell.
- 14) Application according to claims 10 through 12 for a materials processing procedure, whereby a first laser pulse is directed onto the surface of the material creating a plasma, whereby after some delay a further number of pulses is directed onto the plasma above the surface of the material, whereby the first laser pulse and the further number of laser pulses is determined by the Pockels cell and its driver.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 51 888.2

Anmeldetag: 07. November 2002

Anmelder/Inhaber: Bergmann Meßgeräte Entwicklung KG, Murnau/DE;
Lumera Laser GmbH, Kaiserslautern/DE

Bezeichnung: Treiber für Pockelszelle und Verwendung der
Pockelszelle in Lasersystemen

IPC: G 02 F, H 01 S

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wehner



Zusammenfassung

Treiber für Pockelszelle und Verwendung der Pockelszelle in Lasersystemen

5

Der Treiber oder die elektrische Ansteuerung für die Pockelszelle wird gegenüber der bekannten H-Konfiguration derart verändert, dass den zwei schon vorhandenen Schaltern (S1, S2A; S1A, S2A) mindestens ein weiterer Schalter (S2B; S1B, S2B) hinzugefügt wird. Dieser kann entweder einen der üblicherweise vorhandenen Nachladewiderstände ersetzen oder zu diesem (R2) parallelgeschaltet sind. Dabei kann auch eine Anordnung vorgesehen sein, die vier Schalter (S1A, S2A, S1B, S2B) und keine Nachladewiderstände aufweist. Mit der Pockelszelle kann eine effizientere Pulss Selektion in Lasersystemen durchgeführt werden und es können gezielt Pulsfolgen mit definierten Zeitabständen für bestimmte Anwendungszwecke erzeugt werden.

10

15

20 (Fig.4 für die Veröffentlichung mit der Zusammenfassung)

07-11-02

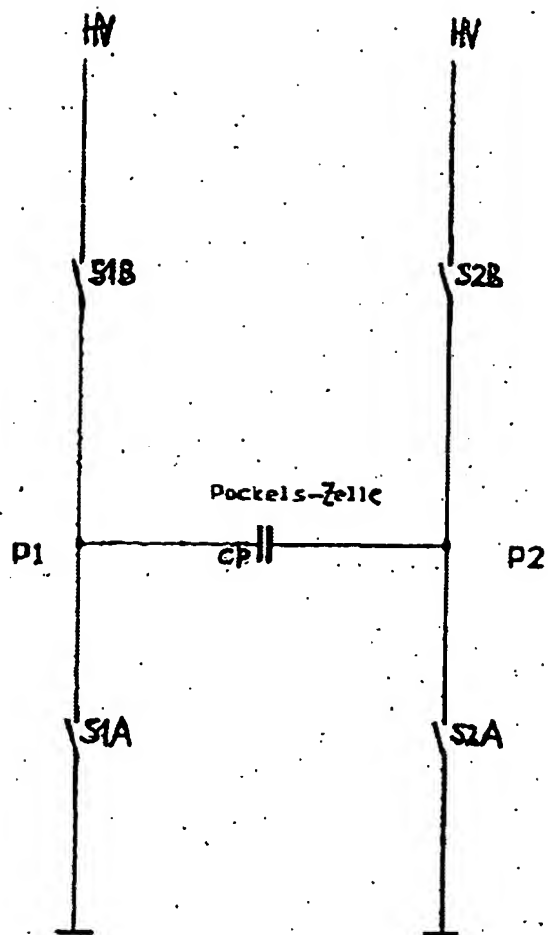


Fig. 4

Beschreibung

Treiber für Pockelszelle und Verwendung der Pockelszelle in Lasersystemen

5

Die Erfindung betrifft einen Treiber oder eine elektrische Ansteuerung für eine Pockelszelle und Verwendungen einer derartig angesteuerten Pockelszelle in einem Lasersystem und für mit dem Lasersystem durchzuführende Anwendungen.

10

Eine Pockelszelle besteht im allgemeinen aus einem doppelbrechenden Kristall, welcher in geeigneter Weise zu einem einfallenden monochromatischen und polarisierten Lichtstrahl ausgerichtet ist und in Verbindung mit einer an ihn angelegten elektrischen Spannung in Größenordnung einiger 100V bis einiger Kilovolt und weiteren optischen Elementen wie z.B. Polarisator oder Spiegel, das Licht in Abhängigkeit von der elektrischen Spannung

15

(a) an- oder abschalten oder

20

(b) auf zwei verschiedenen Pfaden durch ein optisches System lenken kann.

25

Die Spannung, welche erforderlich ist, um die jeweils zwei genannten Zustände zu erreichen, ist eine Funktion der Kristallparameter und der verwendeten Wellenlänge des zu schaltenden Lichts. Es gibt Anwendungen von Pockelszellen, bei welchen diese schnell an- und abgeschaltet werden müssen, wobei beide Übergangszeiten im Bereich von wenigen Nanosekunden liegen müssen. Bei manchen Anwendungen muss nur eine dieser Übergangszeiten kurz sein, entweder das Anschalten oder das Abschalten, wobei die jeweils andere Übergangszeit durchaus im Bereich von Mikrosekunden liegen darf. Die Erfindung betrifft den Aufbau und die Anwendung einer Vorrichtung, bei welcher beide Übergangszeiten schnell sein müssen.

30

35

Diese Pockelszelle, kombiniert mit einer geeigneten schaltbaren Hochspannungsversorgung kann beispielsweise verwendet

werden, um kurze Laserpulse mit einer Dauer von wenigen Nanosekunden (ns) oder ultrakurze Laserpulse mit Pikosekunden (ps)- oder Femtosekunden (fs)-dauer optisch zu schalten, d.h. die Intensität oder die Strahlrichtung der Laserpulse zu ändern. Ultrakurze Laserpulse werden bekanntermaßen durch das Verfahren der Modenkopplung erzeugt. Daher haben Laserstrahlquellen für ultrakurze Pulse prinzipbedingt immer sehr hohe Wiederholraten (größer als 10 Megahertz (MHz), typ. 70-200 MHz für Festkörperlaser) und niedrige Pulsenergien (im Nanjoule-Bereich, typ. 0,1-50 nJ). Werden einzelne Pulse oder Pulsgruppen von ps- oder fs-Laserpulsen benötigt, so wird häufig eine Pockelszelle verwendet, um diese Pulse zu selektieren. In diesem Fall muss zunächst zwischen zwei Pulsen, welche die Laserstrahlquelle typischerweise in einem zeitlichen Abstand von 6 bis 15 Nanosekunden aussendet, die Spannung vollständig angeschaltet werden, um nach Durchlassen eines einzigen Laserpulses 6 bis 15 Nanosekunden später vollständig wieder abgeschaltet zu werden.

Oft werden ultrakurze Laserpulse mit erheblich höherer Energie benötigt (z.B. 1000- bis 100.000-fach), als sie von Laserstrahlquellen mit Modenkopplung direkt erzeugt werden können. Typische Anwendungen für solche Laserpulse sind beispielsweise die nichtlineare Optik oder die Materialbearbeitung mit ultrakurzen Pulsen. In einem solchen Fall werden die selektierten Pulse in einen optischen Verstärker eingekoppelt, und durchlaufen diesen so oft, bis die benötigte Energie erreicht ist. Der optische Verstärker kann in einer linearen oder einer regenerativen Ausführung vorliegen.

Ein regenerativer optischer Verstärker besitzt bekanntlich einen Resonator, in dem sich ein verstärkendes Medium befindet. Die selektierten Laserpulse werden mit Hilfe einer weiteren Pockelszelle als optischem Schalter in den Resonator eingekoppelt, über eine Vielzahl von Umläufen verstärkt und dann wieder ausgekoppelt. Hierbei ist es wesentlich, dass diese Schaltprozesse innerhalb einer Umlaufzeit im Resonator

des regenerativen Verstärkers erfolgen. Es ist also erforderlich, mit einer kurzen Schaltzeit in der Größenordnung von einigen Nanosekunden die an der Pockelszelle anliegende Spannung anzuschalten, so dass der einfallende Laserpuls im Resonator umläuft und verstärkt wird. Ebenso ist es erforderlich, mit der gleichen Geschwindigkeit die an der Pockelszelle anliegende Spannung abzuschalten, so dass der verstärkte Laserpuls den Resonator verlassen kann.

- Die o.g. Verfahren werden wesentlich durch die derzeit verfügbaren Ansteuerungen für Pockelszellen eingeschränkt und zwar hinsichtlich zu langer Schaltzeiten, zu niedriger Schaltraten und zu geringem Kontrast. Die Schaltzeiten von mehreren ns beschränken die Verwendung modengekoppelter Laserstrahlquellen auf Wiederholraten von < 100 MHz und erfordern deshalb regenerative Verstärker mit langen Resonatoren, die Umlaufzeiten > 10 ns haben. Typische Schaltraten von weniger als 20 kHz sind zu niedrig, um Laser mit Verstärkern, deren Schaltraten durch die Ansteuerung der Pockelszelle begrenzt ist; z.B. in der Materialbearbeitung wirtschaftlich einzusetzen.

- Bei der Verwendung von linearen Verstärkern durchlaufen die selektierten Impulse aus dem Ultrakurzpulslaser das verstärkende Medium ohne einen weiteren Schalter. Da auf diese Weise weniger Durchgänge durch den Verstärker möglich sind, werden Verstärker hauptsächlich für niedrigere Pulsenergie oder bei sehr hoher Verstärkung eingesetzt. Ein wesentlicher Nachteil entsteht dabei nach dem derzeitigen Stand der Technik durch den geringen Kontrast zwischen selektierten und nicht selektierten Laserpulsen, der bei den üblichen Pockelszellenansteuerungsbedingt nur ca. 300:1 beträgt. Die Resttransmission der nichtselektierten Laserpulse erzeugt eine Hintergrundstrahlung, deren Leistung meist höher ist, als die Leistung der selektierten Laserpulse. Betrachtet man beispielsweise eine Laserstrahlquelle mit einer Wiederholrate von 60 MHz und einer Pulsenergie von 30 nJ, von deren Strahlung Pulse mit

einer Schaltrate von 20 kHz selektiert werden, so beträgt die mittlere Leistung der selektierten Impulse $P = 20 \text{ kHz} \times 30 \text{ nJ} = 0,6 \text{ mW}$. Zwischen den selektierten Laserpulsen sind jedoch jeweils 3000 Pulse, die bei dem o.g. Kontrast nur jeweils 300 mal schwächer sind. Die mittlere Leistung dieser Hintergrundstrahlung ist damit zehnfach höher und beträgt 6 mW. Ein linearer Verstärker, in den diese selektierten Impulse eingekoppelt werden, wird von seiner gespeicherten Energie also 91% an die Hintergrundstrahlung und nur 9% an die selektierten Laserpulse abgeben. Deshalb können in hochverstärkenden Lasersystemen nach dem heutigen Stand der Technik keine Pockelszellen zur Pulss Selektion eingesetzt werden, sondern nur Pulss selektoren mit höherem Kontrast, wie z.B. Akusto-Optische Modulatoren (AOM). Diese Modulatoren haben jedoch andere gravierende Nachteile, wie z.B. eine geringe Transmission und niedrigere Zerstörschwellen.

Pockelszellentreiber nach dem Stand der Technik sind aufgebaut wie beispielsweise in Fig. 1a gezeigt. Die Anordnung soll im folgenden H-Konfiguration genannt werden. Diese bekannte H-Konfiguration weist zwei Schaltungsknoten SK1 und SK2 auf, die an die elektrischen Anschlüsse der Pockelszelle anzuschließen sind. Die Schaltungsknoten SK1 und SK2 sind Ausgangspunkt von vier Leitungen, die den vier Schenkeln des Buchstaben H bilden. Der erste Schaltungsknoten SK1 ist durch eine erste Leitung mit einem (Hoch-)Spannungsanschluss HV und durch eine zweite Leitung über einen ersten Schalter S1 mit Masse verbunden ist, während der zweite Schaltungsknoten SK2 durch eine dritte Leitung mit einem Spannungsanschluss HV und durch eine vierte Leitung über einen zweiten Schalter S2 mit Masse verbunden ist. Die in den gestrichelt gezeichneten Leitungen angeordneten, mit Masse verbundenen Kondensatoren CS1 und CS2 bezeichnen jeweils parasitäre Kapazitäten der Schalter S1 und S2. Mit CP ist die Kapazität der Pockelszelle und mit P1 und P2 sind die Potentiale an den Schaltungsknoten SK1 und SK2 bezeichnet.

Die durch S1 und S2 dargestellten Schalter sind Hochspannungsschalter. Hochspannungsschalter können Spannungen bis zu einigen Kilovolt oder einigen 10 Kilovolt schalten. Die Schaltzeiten von gebräuchlichen Transistor-

5 Hochspannungsschaltern liegen im Bereich weniger Nanosekunden und lassen sich beispielsweise durch TTL-Signale von wenigen Volt ansteuern. Der innere Aufbau dieser Hochspannungsschalter ist bekannte Technik, beispielsweise in Patentschrift DE 3630775 C2 beschrieben. Ebenso ist die Erzeugung der Nieder-
10 spannungs-Steuersignale bekannte Technik, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen werden soll.

Die Arbeitsweise dieser bekannten Schaltung ist in Fig.1b gezeigt. Zunächst sind beide Schalter S1 und S2 offen. Auf diese Weise ist die Pockelszelle spannungslos. Dann wird S1 geschlossen. Dadurch liegt an der Pockelszelle die Spannung an. Wenn man anschließend Schalter S2 schließt, wird die Pockelszelle wieder entladen. Nach einer durch die Anwendung vorgegebenen Wartezeit werden beide Schalter gleichzeitig
20 oder kurz nacheinander geöffnet, womit beide Anschlüsse der Pockelszelle mit einer durch R1 und CS1 bzw. durch R2 und CS2 vorgegebenen Zeitkonstante wieder auf den Wert der anliegenden Hochspannung gezogen werden. In dem Zeitabfolgediagramm von Fig.1b wird dies als Nachladephase bezeichnet. Der Wider-
25 stand RBAL dient zur Verbesserung der Pulsform während der Zeit, zu welcher der Schalter S1 geschlossen, und der Schalter S2 offen ist. Das Zeitabfolge-Diagramm zeigt die zeitliche Abfolge der Schalterzustände und die daraus resultierende, an der Pockelszelle anliegende Spannung.

30

Eine weitere Variante nach dem Stand der Technik ist in Fig. 2 gezeigt. Dies ist ein einfacher Push-Pull-Schalter, wobei jeweils ein Schalter geschlossen, ein Schalter offen ist. Wenn Schalter S1A geschlossen und Schalter S1B offen ist, so
35 ist die Pockelszelle spannungslos. Im umgekehrten Fall liegt die gesamte Hochspannung an der Pockelszelle an. Das Zeitabfolge-Diagramm zu dieser Variante zeigt das Schalten der bei-

den Schalter im gleichen Augenblick an. Denkbar ist auch, dass beispielsweise Schalter S1B wenige Nanosekunden vor dem Schließen von Schalter S1A geöffnet wird. Die Spannung würde sich dann erst ändern, wenn Schalter S1A schließt.

5

Ein Pockelszellentreiber nach Fig. 1a hat die folgenden Nachteile :

- (a) Wenn nur einer der Schalter S1 oder S2 geschlossen ist, so liegt nicht die volle Versorgungsspannung an der Pockelszelle an, sondern nur der durch das Kapazitätsverhältnis $k = CS_2/CS_1$ gegebene Anteil. Man muss also eine höhere Versorgungsspannung HV anlegen, was einen entsprechend höheren Energieverbrauch pro Schaltvorgang bewirkt.
- (b) Versucht man, das Kapazitätsverhältnis zu vergrößern, indem man Kondensatoren parallel zu den Schaltern anordnet, so erreicht man zwar eine höhere Spannung an der Pockelszelle pro angelegte Spannung, man vergeudet aber Energie zum Aufladen der parallel geschalteten Kondensatoren.
- (c) Da die Zeit, während der ein Schalter geschlossen ist (Schließzeit) normalerweise fest vorgegeben ist, bestimmt dies auch die maximale Zeit, zu welcher man eine wohl definierte Spannung an die Pockelszelle anlegen kann.
- (d) Umgekehrt bedeutet eine fest eingestellte Schließzeit der Schalter, dass je nach dem Zeitunterschied des Wieder-Öffnens an der Pockelszelle eine endliche Spannung während des Nachladevorgangs anliegt. Auch wenn beide Schalter gleichzeitig öffnen, so müssten die Zeitkonstanten der RC-Glieder R_1/CS_1 und R_2/CS_2 sehr präzise abgeglichen werden, um ein Auseinanderlaufen der Spannungen an beiden Seiten der Pockelszelle während der Nachladephase zu verhindern. Jedoch ist außer zu Zeiten, wenn die vollständige Betriebsspannung an der Pockelszelle anliegen soll, eine anliegende Restspannung an der Pockelszelle unerwünscht. Bei Verwendung von optischen

10

15

20

25

30

35

Verstärkern mit hohem Verstärkungsgrad kann eine auf diese Weise hervorgerufene Resttransmission des Lichtschalters die Funktion des Lasersystems z.B. durch Hintergrundstrahlung beeinträchtigen.

5

Ein Pockelszellentreiber nach Fig. 2 vermeidet eine Restspannung während eines Nachladevorgangs, ebenso liegt im angeschalteten Zustand, d.h. wenn Schalter S1B geschlossen, S1A offen ist, die volle Versorgungsspannung an der Pockelszelle an, wodurch nicht unnütz Energie vergeudet wird. Jedoch kann normalerweise die Zeit zwischen dem Schließen und Öffnen eines Schalters nicht beliebig kurz gewählt werden, wodurch die Zeit, bei welcher Spannung an der Pockelszelle anliegt, nicht unterhalb eines bestimmten Minimalwertes gewählt werden kann. 100 Nanosekunden sind hier ein typischer Wert.

15

Der Erfindung liegt dementsprechend die Aufgabe zugrunde, einen Pockelszellentreiber anzugeben, welcher hohe Wiederholraten bei beliebigem Taktverhältnis und einwandfrei eingehaltenen Schaltzuständen gewährleistet. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zur Ansteuerung von Pockelszellen anzugeben, die eine Selektion von Laserimpulsen mit kurzen Schaltzeiten, hoher Schaltrate und hohem Kontrast zwischen selektierten und nicht selektierten Laserpulsen gewährleistet. Es ist ferner Aufgabe der Erfindung, Verwendungen dieser Pockelszellen für Lasersysteme, die kurze und ultrakurze Laserpulse mit hoher Energie und minimaler Hintergrundstrahlung erzeugen, sowie mögliche Anwendungen dieser Lasersysteme anzugeben.

25

30

Diese Aufgaben werden durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

Geht man von der bekannten und oben beschriebenen H-

35

Konfiguration eines Pockelszellentreibers aus, in der zwei Nachladewiderstände enthalten sind, so werden nun erfindungsgemäß einer oder beide Nachladewiderstände durch parallel ge-

schaltete Schalter ergänzt oder durch diese Schalter vollständig ersetzt.

Ohne Bezugnahme auf die bekannte H-Konfiguration lässt sich
5 der erfindungsgemäße Treiber in seiner allgemeinsten Form wie folgt beschreiben. Der Treiber weist einen ersten Schaltungsknoten auf, der mit einem ersten Anschluss der Pockelszelle zu verbinden ist, und einen zweiten Schaltungsknoten, der mit einem zweiten Anschluss der Pockelszelle zu verbinden ist.

10 Der erste Schaltungsknoten ist durch eine erste Leitung mit einem ersten Potential und durch eine zweite Leitung über einen ersten (Hochspannungs-)Schalter mit einem zweiten Potential verbunden. Der zweite Schaltungsknoten ist durch eine dritte Leitung mit dem ersten Potential und durch eine vierte
15 Leitung über einen zweiten (Hochspannungs-)Schalter mit dem zweiten Potential verbunden. In einer derartigen Treiberschaltung ist nunmehr noch mindestens ein weiterer (Hochspannungs-)Schalter enthalten, über den einer der beiden Schaltungsknoten mit dem ersten Potential verbunden ist.

20 Dabei kann das erste Potential durch einen Pol einer Spannungsquelle oder Masse und das zweite Potential ebenso durch Masse oder durch den anderen Pol der Spannungsquelle gegeben sein.

25 Für die Anordnung eines oder zweier weiterer Schalter gibt es verschiedene Möglichkeiten.

30 So kann die bekannte H-Konfiguration im wesentlichen beibehalten werden und es können in der den ersten Schaltungsknoten mit dem ersten Potential verbindenden ersten Leitung und der den zweiten Schaltungsknoten mit dem ersten Potential verbindenden dritten Leitung Nachladewiderstände angeordnet werden. Der weitere Schalter kann dann zu einem der Nachladewiderstände parallelgeschaltet und in einer fünften Leitung
35 zwischen einem Schaltungsknoten und dem ersten Potential angeordnet werden.

In Erweiterung der vorstehend beschriebenen Ausführungsform kann auch zu dem zweiten Nachladewiderstand ein weiterer Schalter parallelgeschaltet und in einer sechsten Leitung zwischen dem anderen Schaltungsknoten und dem ersten Potential angeordnet werden.

Anstelle der Parallelschaltung zu einem oder beiden der Nachladewiderstände können einer oder beide Nachladewiderstände auch durch die Schalter ersetzt werden.

Durch den erfindungsgemäßen Pockelszellen-Treiber wird das Problem der Restspannung an der Pockelszelle vermieden und es können höhere Schaltraten im Bereich von 100-200 kHz erzielt werden, während durch konventionelle Treiber lediglich maximal 50 kHz erzielbar sind.

Durch die erfindungsgemäßen Treiber angesteuerte Pockelszellen können in vorteilhafter Weise in Lasersystemen eingesetzt werden. Zum einen können die erfindungsgemäß angesteuerten Pockelszellen innerhalb des Laserresonators als Güteschalter eingesetzt werden. Des Weiteren können sie außerhalb des Laserresonators zur Impulss Selektion verwendet werden. In dieser Eigenschaft können sie beispielsweise zwischen der Laserstrahlquelle und einem optischen Verstärker eingesetzt werden. Sie können jedoch auch innerhalb des optischen Verstärkers eingesetzt werden (regenerativer optischer Verstärker). Die vorgenannten Anwendungen können auch kumulativ innerhalb eines Lasersystems eingesetzt werden, so dass das Lasersystem eine Mehrzahl von erfindungsgemäß angesteuerten Pockelszellen enthält.

Eine weiterführende Anwendung derartiger Lasersysteme ist die Erzeugung bestimmter gewünschter Impulsfolgen mit oder ohne nachgeschalteten Verstärker, um damit bestimmte Verfahren im Bereich der Materialbearbeitung oder der Anregungs-/Abfrage-

Experimente (pump-probe). zu ermöglichen oder unter vereinfachtem Aufwand durchzuführen.

Im folgenden sind Ausführungsbeispiele für einen erfindungsgemäßen Treiber und ein Lasersystem in den Zeichnungsfiguren dargestellt. Es zeigen :

Fig.1a,b eine Treiberschaltung nach dem Stand der Technik (a) und Schalterstellungen und Potentialverläufe im Betriebszustand (b);

Fig.2 eine weitere Treiberschaltung nach dem Stand der Technik ("Push-Pull") (a) und Schalterstellungen und Potentialverläufe im Betriebszustand (b);

Fig.3a,b eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Treibers (a) und Schalterstellungen und Potentialverläufe im Betriebszustand (b);

Fig.4 eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Treibers;

Fig.5a,b zwei verschiedene Betriebsmodi A und B der in Fig.4 gezeigten Ausführungsform;

Fig.6 eine Ausführungsform für ein Lasersystem umfassend eine Laserstrahlquelle und eine von einem erfindungsgemäßen Treiber angesteuerte Pockelszelle.

In der ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Treibers gemäss der Fig.3a wird die bekannte H-Konfiguration insoweit abgeändert, als dass einem der Nachladewiderstände, nämlich dem Nachladewiderstand R2, ein Hochleistungsschalter S2B parallelgeschaltet wird. Der Hochleistungsschalter S2B weist eine parasitäre Kapazität CS2B auf, die in eine gestrichelten Leitung eingezeichnet ist.

Die Betriebsweise des Treibers der Fig.3a ist in der Fig.3b dargestellt. Der Schalter S2B muss vor dem Schließen des Schalters S1 geschlossen sein. Schließt man nun den Schalter S1, so liegt die volle Versorgungsspannung an der Pockelszelle an. Zeitgleich mit dem Schließen des Schalters S2A, wodurch das Abschalten der Pockelszelle bewirkt wird, wird der Schalter S2B wieder geöffnet, um dann während der Nachlade-
phase wieder geschlossen zu werden.

In einer weiteren, in der Fig.4 dargestellten Ausführungsform werden beide in der H-Konfiguration vorgesehenen Nachladewiderstände durch die Schalter S1B und S2B ersetzt. Die Schaltungsknoten SK1 und SK2 sind somit durch jeweils eine einzige Leitung (die erste und die dritte Leitung), in der jeweils ein Schalter (S1B, S2B) enthalten ist, mit dem Spannungsanschluss HV verbunden. Die Ausführungsform der Fig.4 ist somit gewissermaßen eine Verdoppelung des in Fig.2 gezeigten Push-Pull-Schalters.

Erfindungsgemäß kann man alle vier Schalter durch vier einzelne Steuersignale ansteuern, beispielsweise mit Delay-Generatoren, welche volle Freiheit bei den Zeiten der einzelnen Schaltvorgänge lassen. Dies erlaubt z.B. alternierend Pulse mit unterschiedlichen Eigenschaften. Genauso ist es möglich, wie in Fig.5a,b vorgesehen, mit nur zwei Ansteuersignalen AN und AUS zu arbeiten, wenn eine Schaltung vorgesehen wird, welche jeden der zwei Ansteuerpulse abwechselnd einem von zwei Schaltern zuordnet. Die Fig.5a,b zeigen zwei Varianten, wie je zwei Steuerpulse Zustände der vier Schalter bewirken könnten, wobei jeweils die positiven Flanken der Steuerpulse benutzt werden, um entsprechende Änderungen des Schaltersystems zu bewirken. Die detaillierte Ausführung einer solchen Ansteuerung entspricht dem Stand der Technik und wird deshalb hier nicht besprochen.

Man erhält somit einen Pockelszellentreiber, welcher schlecht definierte Spannungszustände an der Pockelszelle während des

Nachladevorgangs vermieden. In den Figs. 5a, b sind zwei verschiedene Betriebsarten A, B für einen Treiber der Fig. 4 dargestellt. Dabei werden Steuerpulse AN und AUS verwendet, um die Schalter S1A, S1B, S2A und S2B an- und auszuschalten. Gemäss der Fig. 5a (Betriebsmodus A) wird der Steuerpuls AN stets den Schaltern S1A und S1B zugeführt und bewirkt einen Wechsel von deren Schalterstellungen. Ebenso wird ein Steuerpuls AUS stets den Schaltern S2A und S2B zugeführt und bewirkt ebenso einen Wechsel von deren Schalterstellungen. Gemäss der Fig. 5b (Betriebsmodus B) werden die Steuerpulse AN und AUS jeweils im Wechsel einmal dem Schalterpaar S1A/S1B und das darauffolgende Mal dem Schalterpaar S2A/S2B zugeführt.

Wie man anhand Fig. 5a, b leicht nachvollziehen kann, wird das bei einem Pockelszellentreibern gemäss Fig. 1a vorhandene Problem der Restspannung an der Pockelszelle (im ausgeschalteten Zustand) bei der Ausführungsform nach Fig. 4 sicher vermieden.

Bei beiden Betriebsarten erreicht man, wenn man eine der Zustandsfolgen von Betriebsmodus A oder Betriebsmodus B verwendet, eine doppelte Pulsfolgefrequenz an der Pockelszelle bei nur halber Taktrate der Hochspannungsschalterpaare S1A/S1B und S2A/S2B. Im Normalfall wird man keinen Unterschied zwischen Betriebsmodus A und Betriebsmodus B feststellen können, da die Wirkung der Pockelszelle auf durchgehendes Licht nicht von der Polarität der angelegten Spannung abhängt. In den Zeitabfolge-Diagrammen wird immer das Öffnen eines Schalters exakt synchron zum Schließen des Gegenschalters gezeigt, z.B. S1A und S1B, es ist aber auch möglich, beispielsweise S1B einige Nanosekunden vor dem Schließen von S1A zu öffnen.

Die Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Ansteuerung der Pockelszelle in einem Lasersystem ermöglicht neue Konfigurationen von Ultrakurzpulslasern, welche nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht oder nur unzureichend funk-

tionieren, beispielsweise weil ihre Funktion durch Hintergrundstrahlung beeinträchtigt wird.

- Eine erfindungsgemäß angesteuerte Pockelszelle kann, wie in
- 5, Fig. 6 dargestellt, zur Impulsselektion zwischen einer Laserstrahlquelle 1 und einer Vorrichtung mit hoher Verstärkung eingesetzt werden und gewährleistet eine effiziente Energieabgabe an die selektierten Impulse. Wird beispielsweise eine Laserstrahlquelle mit einer Wiederholrate von 60 MHz verwendet,
- 10, so lassen sich erfindungsgemäß durch eine von einem Treiber 2A angesteuerte Pockelszelle 2 Pulse mit einer Schalt rate von 100-200 kHz und einem Kontrast von 3000:1 selektieren. Die mittlere Leistung der selektierten Pulse ist damit 10-fach höher als die der verbleibenden Hintergrundstrahlung.
- 15, Die Verstärkung der selektierten Pulse verbessert sich um einen Faktor 100, verglichen mit Vorrichtungen, die Pockelszellen mit Ansteuerungen nach dem derzeitigen Stand der Technik verwenden. Zwischen der Pockelszelle 2 und dem optischen Verstärker 4 ist ein polarisationsabhängiges optisches Element 3
- 20, vorgesehen, welches so steht, dass es eine Polarisationsrichtung zum Verstärker 4 passieren lässt, während die andere, senkrecht dazu stehende Polarisationsrichtung reflektiert wird.
- 25, Bei der Ausführungsform der Fig.6 ist die Pockelszelle außerhalb des Laserresonators angeordnet. Eine erfindungsgemäß angesteuerte Pockelszelle kann jedoch aufgrund des hohen Kontrastes und der schnellen Schaltzeiten zur Impulsselektion auch direkt im Resonator der Laserstrahlquelle als Güteschalter verwendet werden. In Kombination mit einem polarisierenden Element wird durch Veränderung der Hochspannung an der
- 30, Pockelszelle die Güte des Resonators innerhalb einer Umlaufzeit stark verändert. Die Pulse laufen dann bei ausgeschalteter Pockelszelle mehrfach im Resonator zwischen vollreflektierenden Endspiegeln um und werden dann in an sich bekannter Weise bei angeschalteter Pockelszelle durch ein polarisationsabhängiges optisches Element ausgekoppelt. Auf diese Weise
- 35,

können Pulse mit höherer Energie selektiert werden, als das bisher möglich ist.

Als weitere Variante kann die erfindungsgemäß angesteuerte Pockelszelle innerhalb des Resonators des optischen Verstärkers 4 angeordnet werden. Auch hier können Pulse nach mehrmaligem Umlauf im Resonator geeignet verstärkt und dann durch Anschalten der Pockelszelle mittels eines polarisationsabhängigen optischen Elementes ausgekoppelt werden.

Die in der Fig.6 dargestellte Pockelszelle 2 kann somit zugunsten der im Verstärker enthaltenen Pockelszelle auch weggelassen werden. Es sind jedoch auch beliebige Kombinationen der vorgenannten Anwendungsfälle von erfindungsgemäß angesteuerten Pockelszellen innerhalb des Lasersystems der Fig.6 vorstellbar.

Eine erfindungsgemäß angesteuerte Pockelszelle kann zur Selektion von zwei schnell aufeinanderfolgenden Laserpulsen mit hoher Schaltrate (z.B. 100. kHz) verwendet werden. Der zeitliche Abstand Δt dieser Doppelpulse kann variabel zwischen einer Mindestschaltzeit von ca. 30 ns und der Zeit bis zum nächsten Schaltvorgang (in diesem Beispiel 10 μ s) eingestellt werden. Der erste Puls kann zur Anregung eines elektronischen Zustands dienen, der zweite Puls zur Abfrage oder Modifizierung des Zustands. Der zweite Puls bewirkt ein Signal, beispielsweise die transmittierte oder reflektierte Lichtintensität des zweiten Pulses oder einen elektrischen Strom, und die Signalstärke wird in Abhängigkeit von der zeitlichen Verzögerung zwischen Anregungs- und Abfragepuls gemessen. Solche den Fachleuten als sog. Pump-Probe- (Anregung-Abfrage-) Anordnungen bekannten Verfahren können nach dem bisherigen Stand der Technik nur mit erheblich größerem apparativen Aufwand realisiert werden.

Ein erfindungsgemäßes Lasersystem, das Doppelpulse mit hoher Schaltrate, einstellbarem Abstand der beiden Pulse zueinander

und einstellbarer Anzahl der selektierten Pulse pro Schaltvorgang erzeugt, kann in vorteilhafter Weise bei der Materialbearbeitung dahingehend ausgenutzt werden, um durch einen oder mehrere erste Laserpulse die Eigenschaften einer Materialoberfläche zu modifizieren und nach einer definierten Zeit diese Oberfläche durch einen oder mehrere Folgepulse zu bearbeiten. Beispielsweise kann durch einen ersten Einschalt-Puls an der Pockelszelle ein einziger Laserpuls ausgekoppelt werden, welcher eine Plasmawolke über einem zu bearbeitendem Werkstück erzeugt, und ein zweiter, längerer Einschalt-Puls an der Pockelszelle kann einen ganzen Zug von Laserpulsen durch die Plasmawolke passieren lassen.

Patentansprüche

1. Treiber für Pockelszelle in H-Konfiguration,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 - einer oder beide der Nachladewiderstände (R1, R2) mit einem Schalter (S2B) parallelgeschaltet ist oder durch diesen Schalter (S1B, S2B) ersetzt ist.
2. Treiber nach Anspruch 1,
10 dadurch gekennzeichnet, dass
- ein Nachladewiderstand (R2) mit einem Schalter (S2B) parallelgeschaltet ist.
3. Treiber für Pockelszellen nach Anspruch 1,
15 dadurch gekennzeichnet, dass
- beide Nachladewiderstände (R1, R2) durch Schalter (S1B, S2B) ersetzt sind.
4. Treiber für Pockelszelle, mit
- 20 - einem ersten Schaltungsknoten (SK1), der mit einem ersten Anschluss der Pockelszelle zu verbinden ist, und einem zweiten Schaltungsknoten (SK2), der mit einem zweiten Anschluss der Pockelszelle zu verbinden ist, wobei
- der erste Schaltungsknoten (SK1) durch eine erste Leitung mit einem ersten Potential (HV) und durch eine zweite Leitung über einen ersten Schalter (S1) mit einem zweiten Potential verbunden ist, und
- der zweite Schaltungsknoten (SK2) durch eine dritte Leitung mit dem ersten Potential (HV) und durch eine vierte Leitung über einen zweiten Schalter (S2) mit dem zweiten Potential verbunden ist,
- 25
- 30 gekennzeichnet durch
- mindestens einen weiteren Schalter (S2B; S1B, S2B), über den einer der beiden Schaltungsknoten (SK1, SK2) mit dem ersten Potential (HV) verbunden ist.
- 35
5. Treiber für Pockelszelle nach Anspruch 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

- beide Schaltungsknoten (SK1, SK2) über jeweils einen Nachladewiderstand (R1, R2) mit dem ersten Potential (HV) verbunden sind, und

- 5 - der zweite Schaltungsknoten (SK2) durch eine fünfte Leitung, in der der weitere Schalter (S2B) enthalten ist, mit dem ersten Potential (HV) verbunden ist.

6. Treiber für Pockelszelle nach Anspruch 4,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

- beide Schaltungsknoten (SK1, SK2) durch jeweils eine einzige Leitung, in der jeweils ein Schalter (S1B, S2B) enthalten ist, mit dem ersten Potential (HV) verbunden sind.

15 7. Treiber für Pockelszelle nach einem der vorherigen Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

- die drei oder vier Schalter (S1A, S1B, S2A, S2B) durch einzelne, ihnen zugeordnete Steuerpulse ansteuerbar sind.

20

8. Treiber für Pockelszelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

- die drei oder vier Schalter (S1A, S1B, S2A, S2B) durch nur zwei Steuerpulse (AN, AUS) ansteuerbar sind, wobei der eine Steuerpuls (AN) ein Anlegen der Spannung an der Pockelszelle bewirkt, der zweite Steuerpuls (AUS) die Spannung an der Pockelszelle wieder abschaltet.

25

9. Pockelszelle mit einem Treiber nach einem der vorherigen Ansprüche.

30

10. Verwendung mindestens einer Pockelszelle nach Anspruch 9 in einem gepulsten Lasersystem.

35 11. Verwendung nach Anspruch 10, wobei das Lasersystem eine Laserstrahlquelle (1) mit einem Laserresonator enthält und

die Pockelszelle (2) im Strahlengang der Laserstrahlung innerhalb oder außerhalb des Laserresonators angeordnet ist.

12. Verwendung nach Anspruch 10 oder 11, wobei das Lasersystem eine Laserstrahlquelle (1) und einen optischen Verstärker (4) enthält und in dem optischen Verstärker (4) gegebenenfalls eine Pockelszelle nach Anspruch 9 enthalten ist

13. Verwendung nach einem der Ansprüche 10 bis 12 für ein optisches Anregungs-/Abfrage-Verfahren, bei welchem

- ein optischer Anregungspuls und ein zeitlich verzögerter optischer Abfragepuls auf ein Medium gerichtet werden, und
- ein durch den Abfragepuls bewirktes Signal in Abhängigkeit von der zeitlichen Verzögerung zwischen Anregungs- und Abfragepuls gemessen wird, wobei
- die Pulsfolge aus Anregungs- und Abfragepuls und die zeitliche Verzögerung zwischen diesen durch die Pockelszelle und ihren Treiber, insbesondere die Beaufschlagung der Schalter des Treibers, bestimmt werden.

14. Verwendung nach einem der Ansprüche 10 bis 12 für ein Materialbearbeitungsverfahren, bei welchem

- ein erster Laserpuls derart auf eine Materialoberfläche gerichtet wird, dass an der Oberfläche ein Plasma erzeugt wird, und
- mit einem vorgegebenen zeitlichen Abstand dazu eine Mehrzahl von Laserpulsen auf das Plasma gerichtet werden, wobei
- die Pulsfolge aus dem ersten Laserpuls und der Mehrzahl von Laserpulsen und der zeitliche Abstand zwischen diesen durch die Pockelszelle und ihren Treiber, insbesondere die Beaufschlagung der Schalter des Treibers, bestimmt werden.

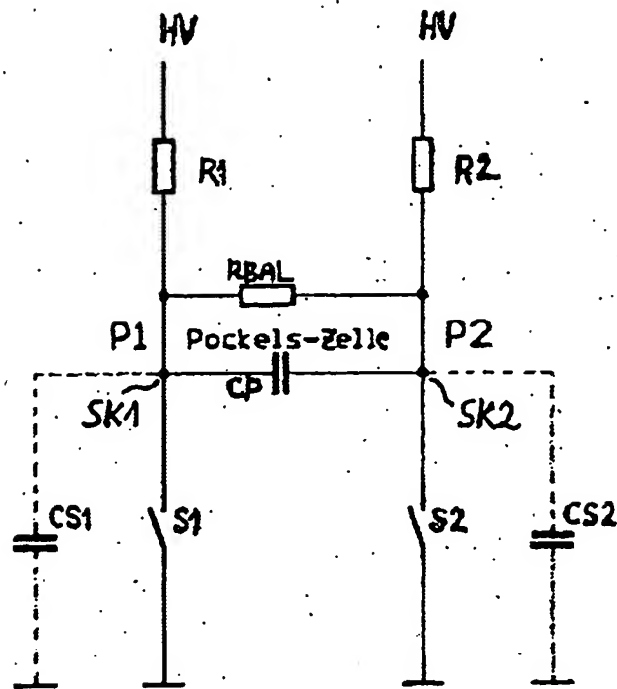


Fig 1a

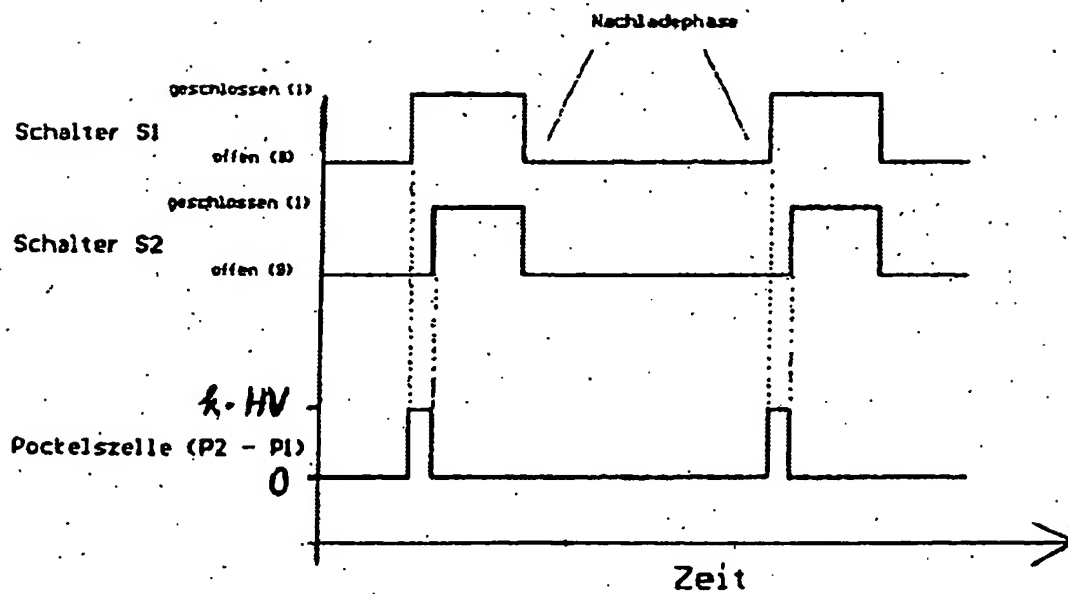


Fig 1b

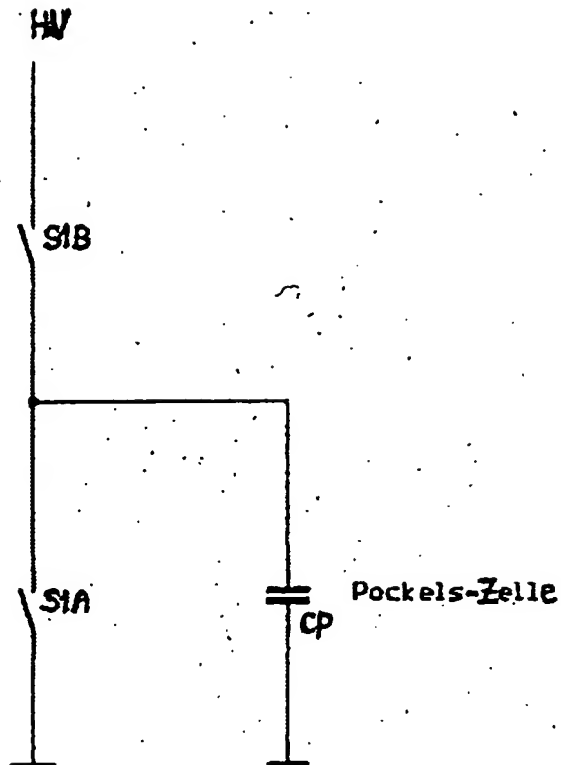


Fig 2a

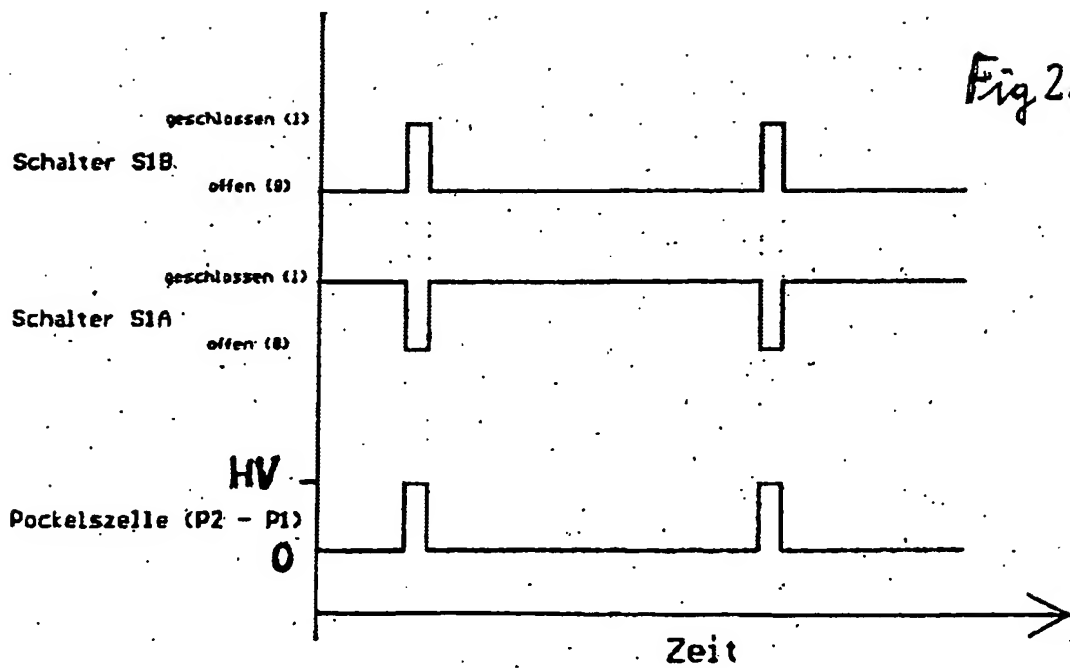


Fig 2b

5/7

Fig 3a

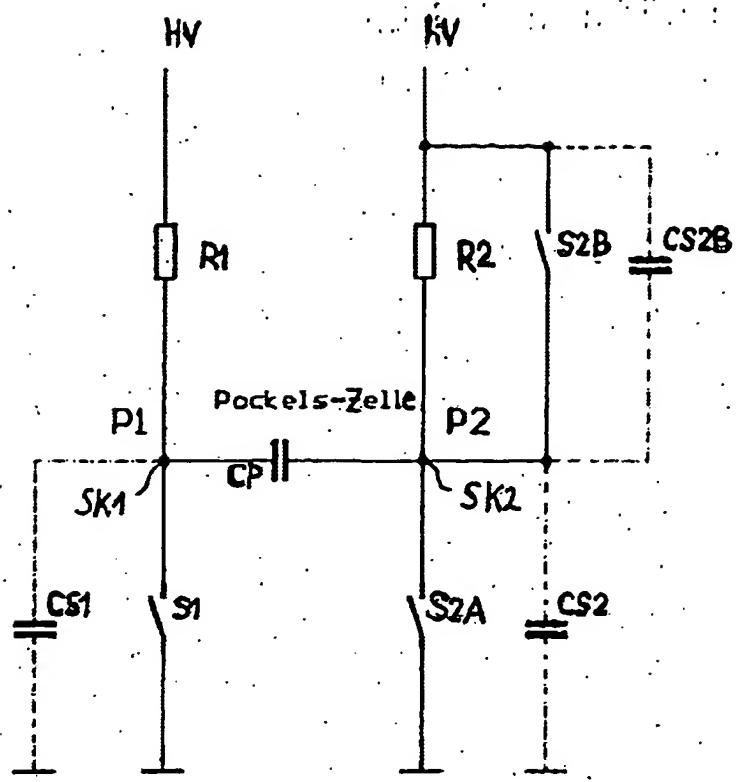
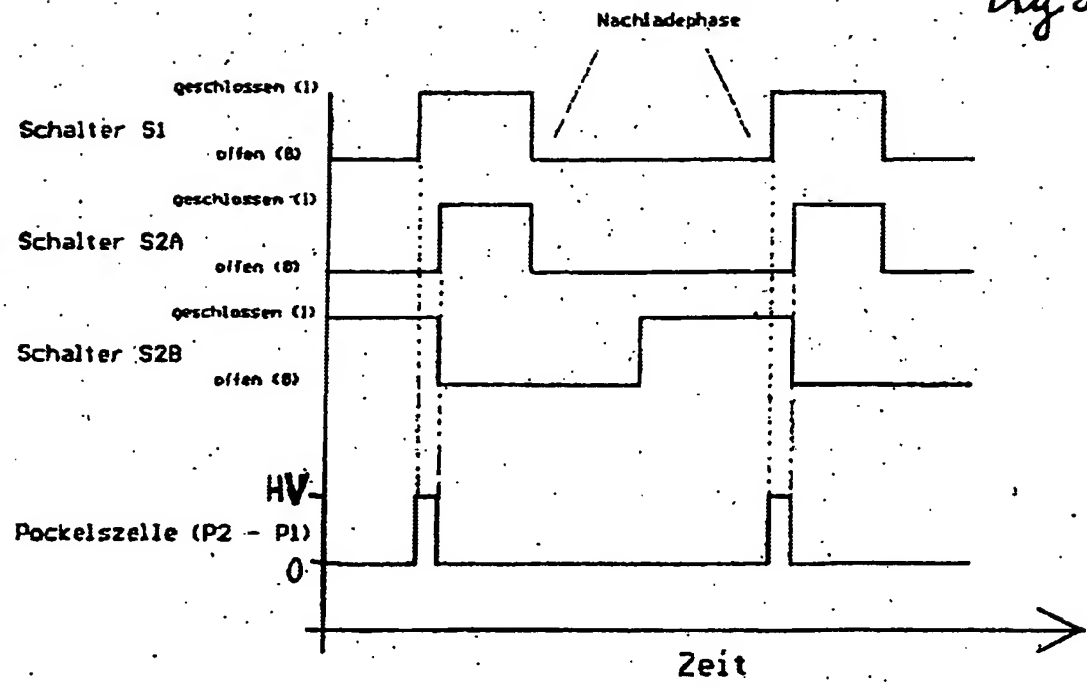


Fig 3b



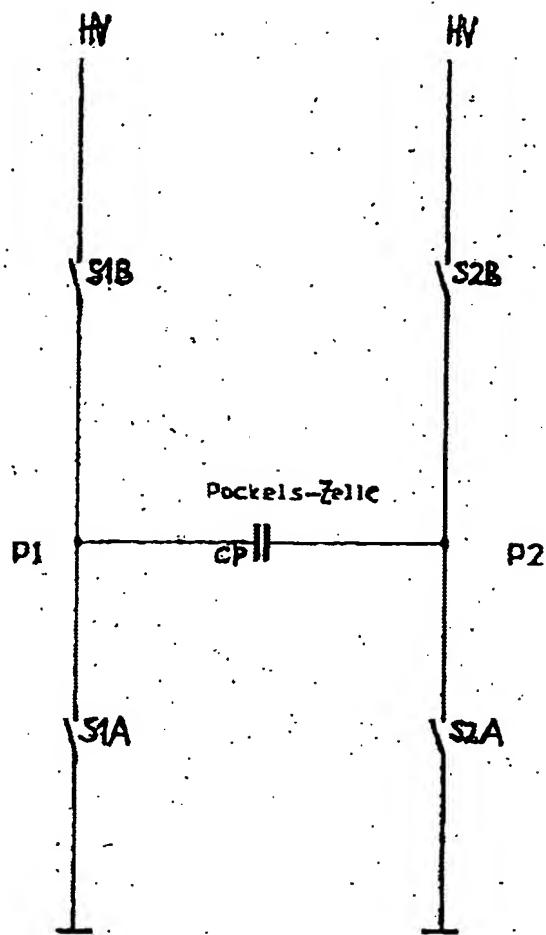
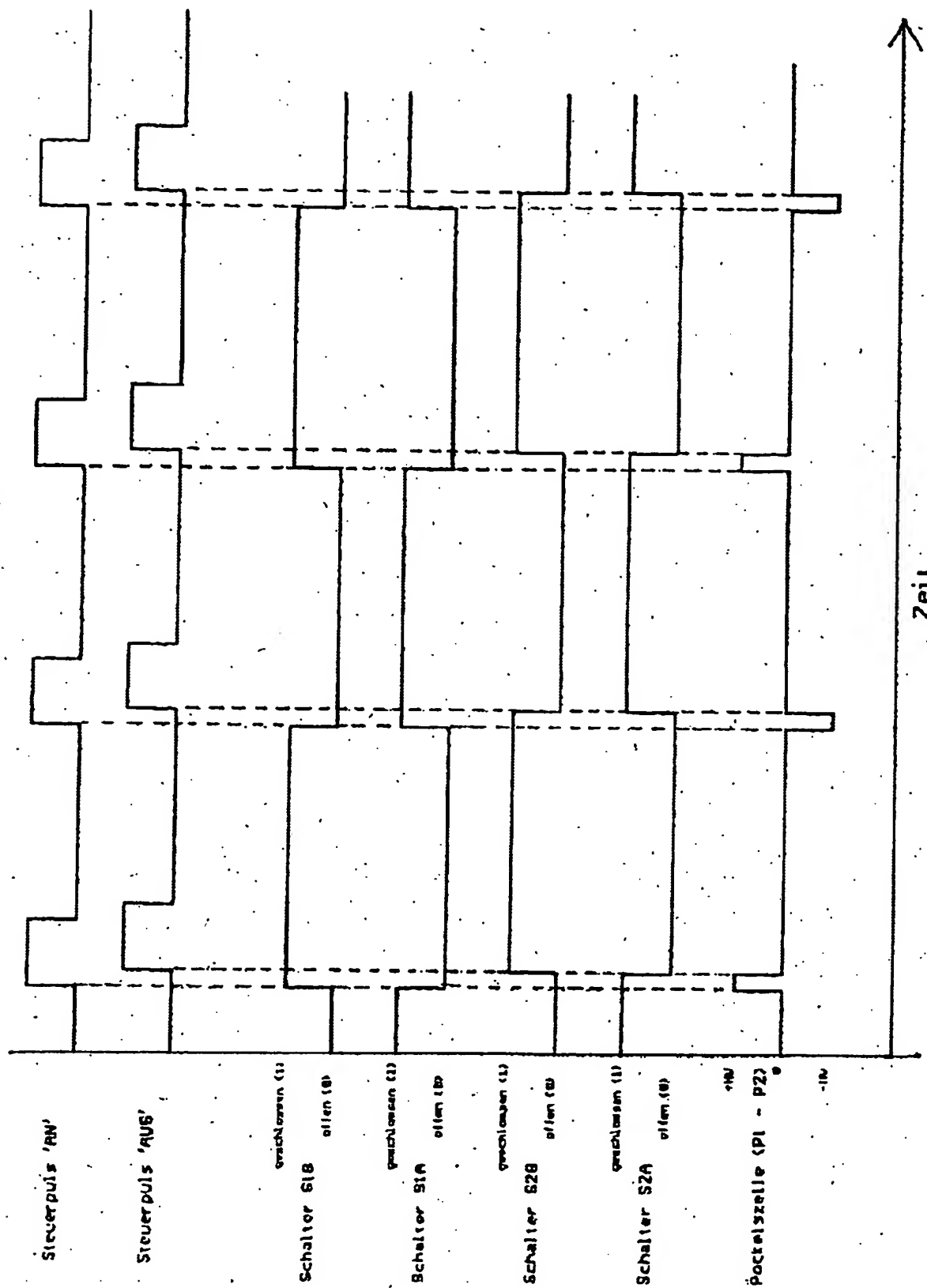


Fig. 4

Fig. 5a

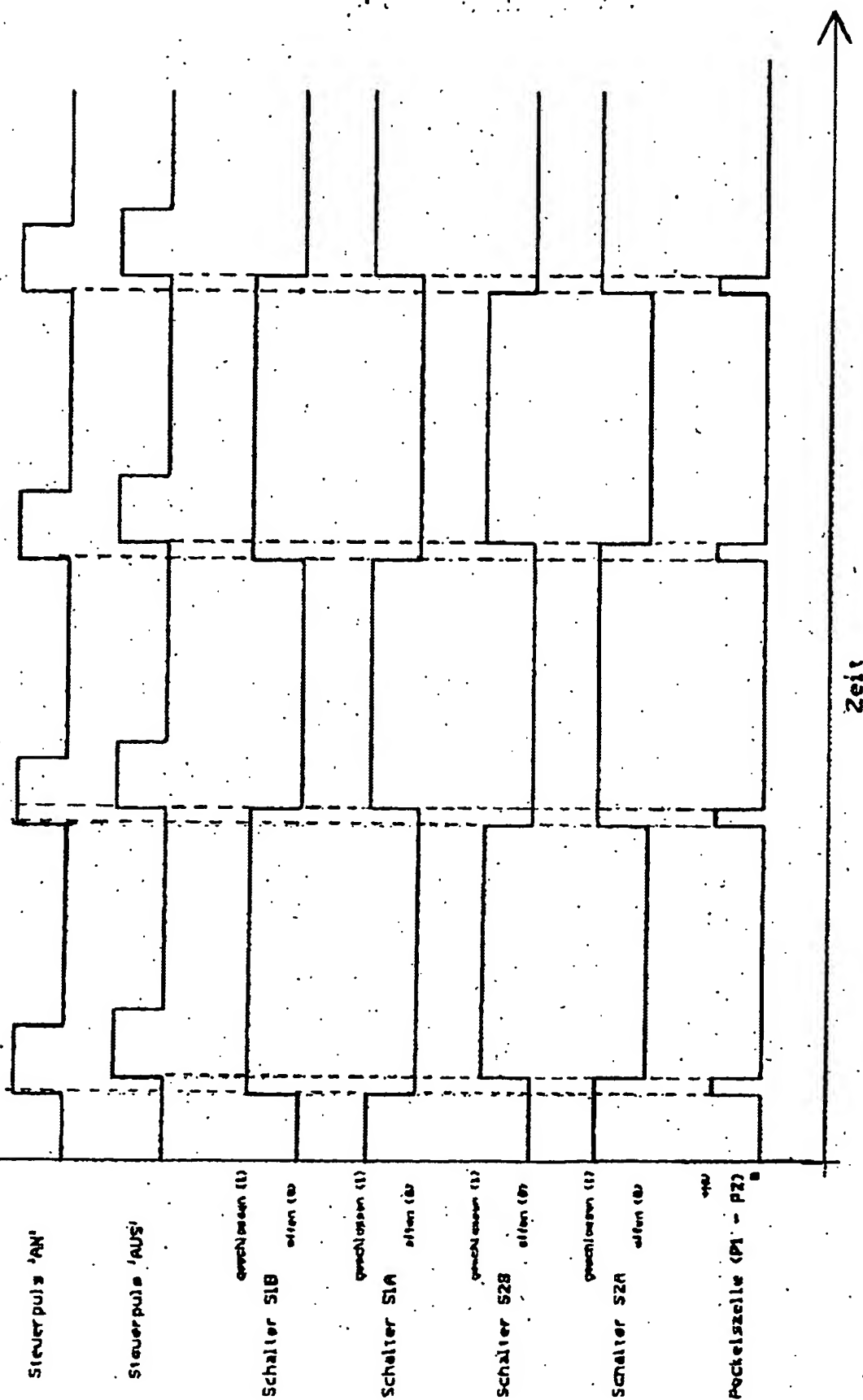
Betriebsmodus A



6/7

Betriebsmodus B

Fig 5b



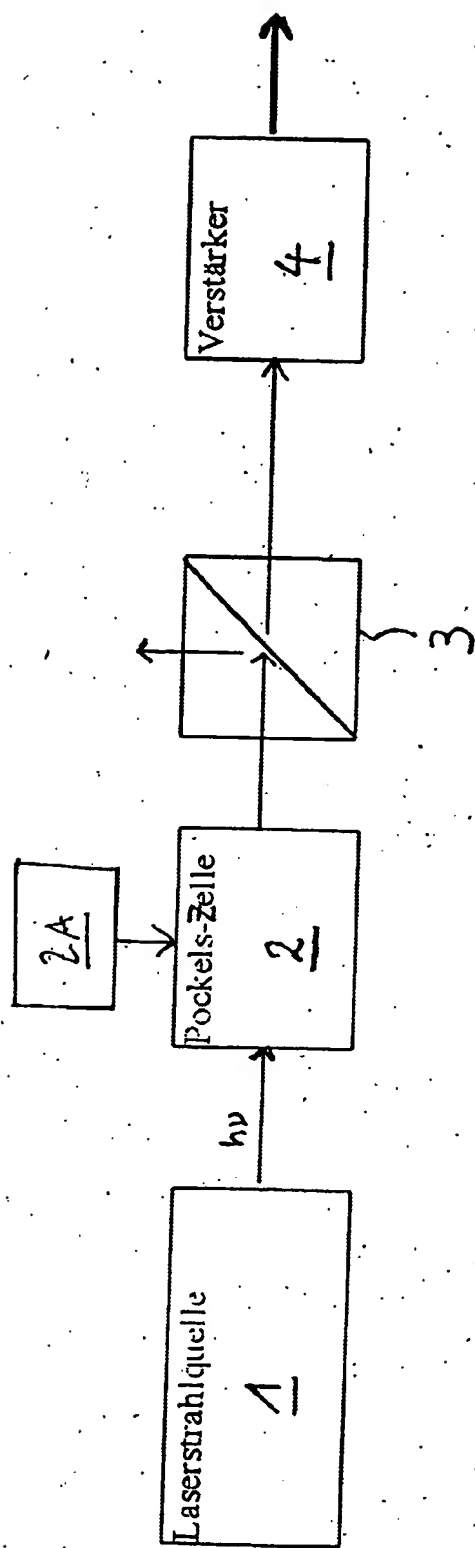


Fig. 6